

氏 名	井 上 裕 司
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 5146 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項
学 位 論 文 名	更生下水道管（二層構造管）の力学挙動と設計法に関する研究
論文審査委員	主 査 教 授 東 田 淳 副 査 教 授 北 田 俊 行 副 査 教 授 大 内 一

### 論 文 内 容 の 要 旨

劣化あるいは損傷した下水道用コンクリート管の改築更新の方法として、これまで多くの非開削による更生工法が開発されている。その中で、老朽下水道管の内側に薄いプラスチック製のライナーを巻きたてる工法は、経済性や施工性に優れているが、出来上がった更生管（二層構造管）の力学挙動が不明なため、わが国ではまだ認められていないのが実情である。そこで本論文では、二層構造管の力学挙動を実験と解析によって明らかにし、その断面設計法を提案した。

第 1 章では、更生工法と現行設計基準の現状、および既往の研究を概説し、二層構造管の力学挙動の実態解明と力学的根拠に基づく合理的設計法構築の必要性について述べた。

第 2 章では、損傷程度の異なる内径 300mm の実物コンクリート管にライナーを内巻きした二層構造管の集中線荷重載荷実験と FEM 解析の結果から、二層構造管は、既設コンクリート管と内巻きライナーの変形モードが異なる重ね梁に類似した挙動を呈すると結論した。

第 3 章では、損傷程度の異なる内径 300mm の実物二層構造管を大型土槽内に浅く埋設し、輪荷重載荷時、および近傍掘削時の二層構造管の力学挙動を把握し、FEM による解析と併せて二層構造管の安全性を調べた。輪荷重載荷実験からは、既設コンクリート管が曲げ剛性を失うまで劣化した場合でも地盤の支持によって二層構造管の安全性が保たれることを確かめた。さらに同程度の劣化を有する二層構造管が埋められた地盤の近傍掘削をシミュレートした実験からは、掘削過程で工事車両が通過し、地盤が掘削溝に向かって崩壊するような厳しい条件でも二層構造管の安全性が保たれることを確かめた。

第 4 章では、二層構造管に強震動が作用したときの力学挙動を、1/30 縮小模型を用いた動的遠心実験、および FEM 解析によって調べた。実験では、既設管の劣化と対応させて剛性を変えた 2 本の模型管を種々の条件で模型地盤中に埋め、模型を遠心加速度 30g（ $g$ ：重力加速度）場に置いて最大水平加速度 0.8g の正弦地動波を 12 波与え、管に働く土圧と管の変形を測定し、地盤条件、埋設寸法、ならびに既設コンクリート管の劣化の各要因の影響を定量化した。次いで、FEM 解析を行って実験結果と整合する結果を得たことから、解析手法の妥当性を確かめた。さらに、この解析手法を用いて二層構造管の地震時の安全性を確認し、二層構造管はレベル 2 相当の強地震動が作用しても安全性を保つと結論した。

第 5 章では、既設コンクリート管の劣化進行に伴う二層構造管の安全性の変化について検討し、内巻きライナーが更生直後に既設コンクリート管のクラックから浸入する地下水の圧力によってコンクリート管から部分的に離れて座屈するとき、ならびに既設コンクリート管が土圧を支えきれなくなるまで劣化し、ライナーに土圧と外水圧が伝達されて座屈するときの二つの状態に対する計算例の比較から、更生直後がライナーにとって最も危険であると結論し、材料定数の感度分析の結果も踏まえて、ライナーの最小肉厚を合理的に決定できる断面設計図表を示した。

第6章では、第2章から第5章までに得られた結論をまとめた。

### 論文審査の結果の要旨

わが国の大都市では、下水道管路の劣化・損傷に伴う管渠閉塞や道路陥没が多発している。老朽下水道管路の延長は今後、急増することが確実であることから早急に改築更新対策を講じる必要がある。対策の決め手は非開削による更生工法の採用であり、これまで種々の工法が開発され、施工延長も伸びつつある。これらの更生工法の中で、老朽下水道管路の内側に薄いプラスチック製のライナーを巻きたてて更生管（二層構造管）を築造する工法は、老朽下水道管路延長の大部分を占める口径800mm以下の枝線管渠の更生工法として経済性や施工性に最も優れている。ところが、出来上がった二層構造管の構造形式、付加外力に対する安全性、ならびに外側の既設管の劣化の影響が不明なため、二層構造管はわが国ではまだ更生管として基準化されていない。

本論文は、二層構造管を更生管として採用する上で障害となっている上記の不明点を実験と解析によって解明し、合理的な断面設計法を提案している。

まず、損傷あるいは劣化の程度が異なる実物下水道管にライナーを内巻きした二層構造管に対する集中線荷重載荷実験とその解析から、二層構造管は外側の既設管と内側のライナーの変形モードが異なる重ね梁に類似した挙動を呈することを明らかにしている。に、車両通行・近傍掘削・地震動によって新たな外力が付加された時の二層構造管の安全性を、実物二層構造管を用いた大型土槽実験と縮小模型を用いた遠心加速度場の振動実験、ならびにこれらの実験に対するFEM解析によって調べた。その結果、既設管の劣化が進行して曲げ剛性をほぼ失った場合でも、浅埋設下の輪荷重載荷・山留めの崩壊・強地震動の付加という厳しい条件に対して、二層構造管が安全であることを確かめている。最後に、座屈理論を用いた計算例から、既設管が劣化によって曲げ剛性を失い、土圧と水圧によってライナーが座屈する条件よりも、ライナーの変形が既設管に拘束される更生直後において、ライナーが外水圧によって座屈する条件の方が危険であることを明らかにしている。さらに、更生直後の座屈理論式に含まれる材料定数の感度分析の結果を踏まえて、ライナーの肉厚を合理的に決定する断面設計法を提案している。

以上のように、本論文は、大都市の浸水や道路陥没を防ぐために喫緊の課題となっている老朽下水道管路の改築更新に対して有用な知見の提示と実用的な提案を行っており、都市防災工学および地盤工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格を有するものと認める。